

# 実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

## ●実用技術編

### 第10章 回路シミュレータ SPICE 入門 (18)

#### ソフトウェアの加算増幅器を改良する

前回ご紹介したソフトウェアの加算増幅器のクローズド・ループ・カットオフ周波数は約 2 kHz (5月号第15図参照)ですが、位相補償回路を5月号第16図のように変更すると、カットオフ周波数は 200 kHz になりました (5月号第17図参照)。

位相補償の方法を第1図のように変えると、クローズド・ループ・カットオフ周波数はさらに上昇し、約 2 MHz になります (第2図参照)。

#### (1) ひずみ率特性

第1図の回路の調波ひずみ率をシミュレーションしましょう。まず  $V_{in}=1\text{ kHz}/100\text{ V}$  の正弦波を与えて過渡解析します。正確を期すには、

解析終了時間を十分長く、一方タイム・ステップは十分短くする必要があります。具体的な手順を以下に示します。

① 回路図エディタのメニューから [Simulator]→[Choose Analysis] を選択し、開いたダイアログボックスを第3図のように編集しま

す。すなわち、

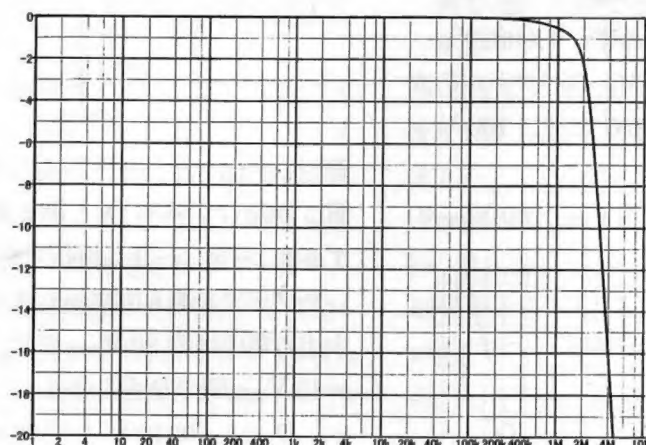
Stop time : 100 ms

.PRINT step : 1 u

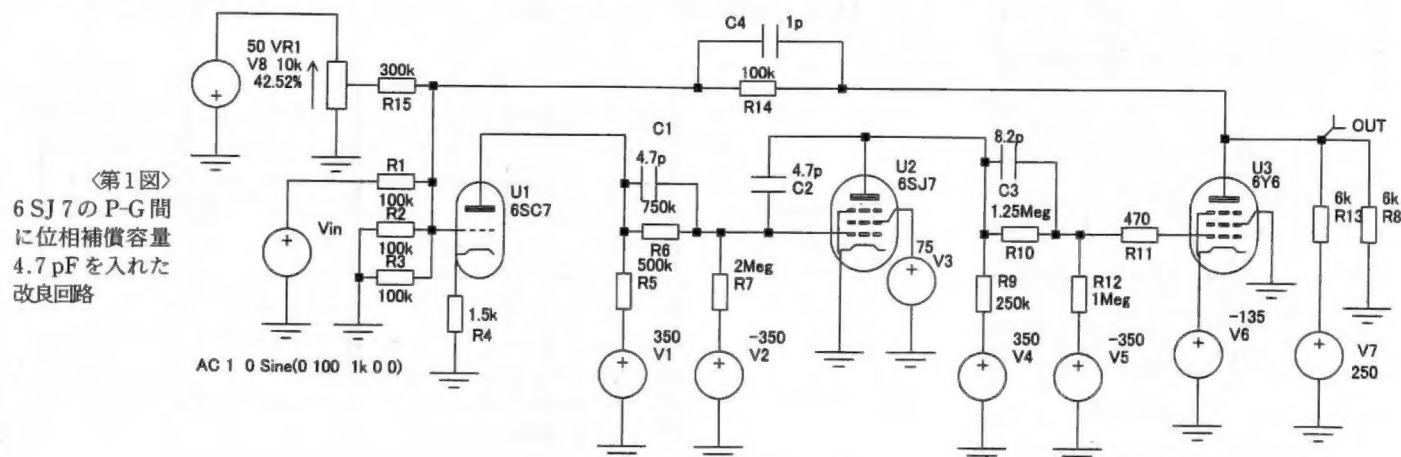
Output at .PRINT step

とします。右端の Transient のチェックを忘れぬよう注意します。

② ダイアログボックスの Run ボタンをクリックし、解析をスタートさせます。解析が終了グラフが表示されたならば、グラフ・ウィンドウのメニューから [Measure]→[B



〈第2図〉  
第1図の回路  
の周波数特性



〈第8図〉

GAP/R社のオペアンプ・ユニットK2-Wのオープン・ループ・ゲインをシミュレーションする回路。出力からU1グリッドへ帰る回路がシミュレーションのために付加した回路。

原回路は、U1のグリッドが反転入力、U2のグリッドが正相入力、U4のV1がネオン管2本直列となっている

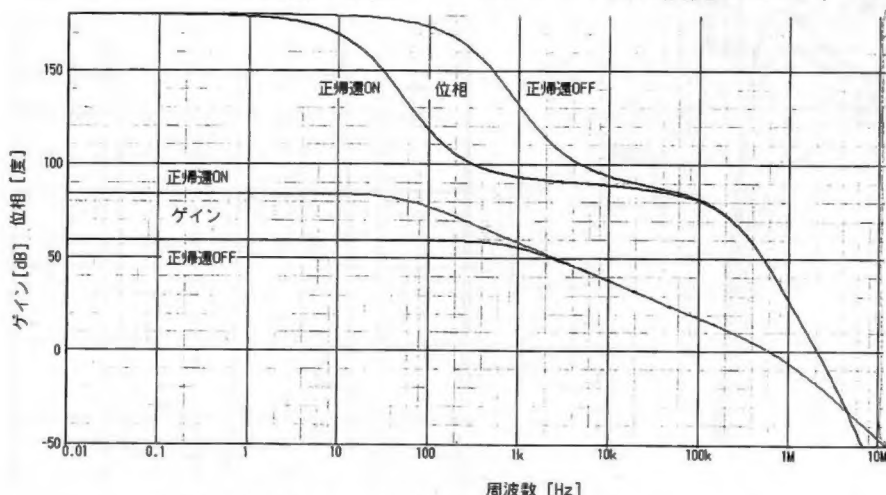
## GAP/R社のK2-W

真空管式オペアンプは第2次世界大戦中と戦後の10年間に大きく発展します。G. A. Philbrickがみずから名を冠し1946年に創立したGAP/R社は、1953年に世界初のプラグイン式オペアンプK2-Wを発売しました。K2-Wは、真空管のようにオクタール・ソケットに差し込むユニット・アンプで、電源部は含まれていません。電源供給電圧は $\pm 300\text{V}$ です<sup>(1)</sup>。

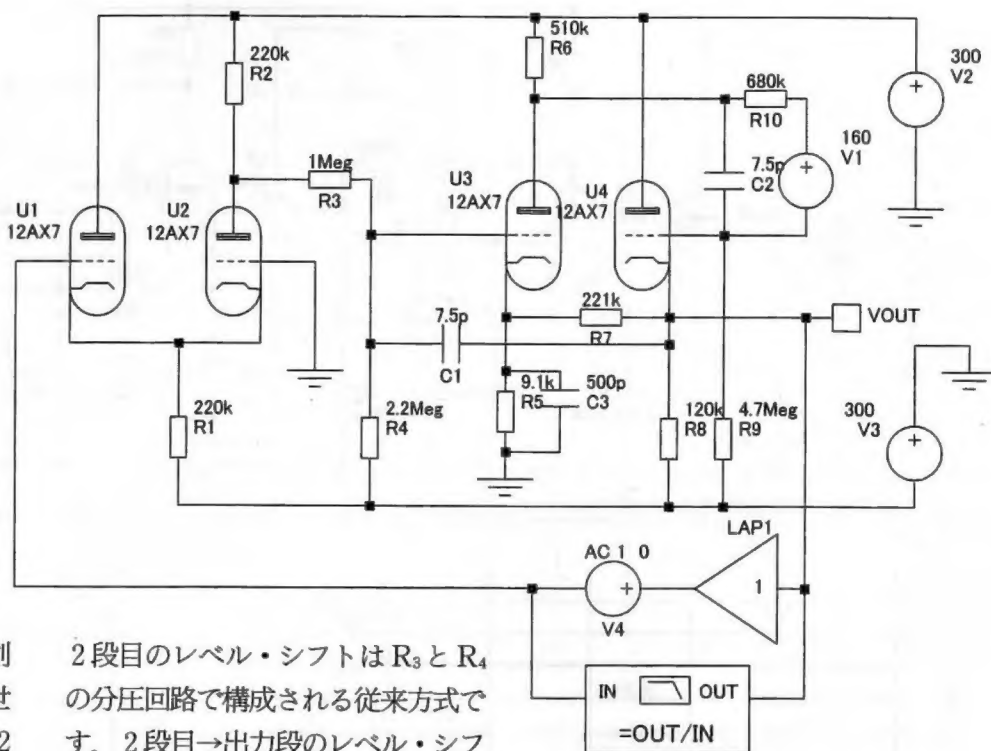
### (1) K2-Wの回路構成

K2-Wの原回路を第8図に示します<sup>(2)</sup>。12AX7Aを2本使っています。初段はシングル・エンド出力の差動増幅、2段目はカソード接地、出力段はカソード・フォロワです。今日の半導体オペアンプも同様の基本構成を継承しており、K2-Wの先進性に驚かされます。

#### ① レベル・シフト回路：初段→



〈第9図〉 K2-W オペアンプのオープン・ループ・ゲインのボード線図



2段目のレベル・シフトは $R_3$ と $R_4$ の分圧回路で構成される従来方式です。2段目→出力段のレベル・シフトはネオン・ランプNE-2を2個使っています。ネオン・ランプは定電圧ダイオードのように働きます。NE-2にDC電圧を印加したときのブレイクダウン電圧はおそらく80Vぐらいで、2個直列の電圧降下は160Vぐらいでしょう。

② 正帰還：オープン・ループ・ゲインを増やすため、12AX7A ( $U_4$ )のカソードから12AX7A ( $U_3$ )のカソードに、 $R_7$ と $R_5$ と分圧回路を経て正帰還をかけています。

③ 位相補償：12AX7A ( $U_3$ )の $C_{p5}$  および $U_4$ のカソード～ $U_3$ のグリッド間に接続した $C_1$  ( $=7.5$

pF)が位相補償容量になります。この位相補償法も半導体オペアンプに継承されています。

### (2) オープン・ループ・ゲインのシミュレーション

第8図の回路でK2-Wのオープン・ループ・ゲインのボード線図をシミュレーションできます。12AX7はKoren氏のモデルを用いました。

2個のネオン・ランプは160VのDC電圧源に置き換えました。AC解析で求めたボード線図を第10図に示します。正帰還の効果を見るため、 $R_7$ を開放し正帰還をキャンセルしたときの特性も、同時にシミュレーションしています。

第9図からすぐわかるように、正帰還をはずしたときのオープン・ループ・ゲインは60 dBですが、 $R_7=221\text{k}\Omega$ で正帰還をかけると、オープン・ループ・ゲインは83.7 dB (15,300倍)に増大します。

スワツェルの反転増幅器に見られた位相周波数特性のリプルは完全に消え、今日のオペアンプと同相の位相特性曲線になっています。

